

과학과 기술의 관계에 있어서의 역사적 층위들

홍성욱 지음, 전치형 옮김

과학/기술의 관계에 대한 역사 서술 소개

과학과 기술 사이의 관계라는 문제는 과학사, 기술사에서 가장 열띤 논쟁을 불러 일으켜 온 주제이며, 이 문제에 대해서 아직 학자들 사이에 완전한 합의가 이루어지지 않고 있다. 이러한 논쟁 속에서 두 가지의 극단적인 입장이 명확히 표명되었다. 첫 번째 입장은 과학과 기술이 오랫동안 밀접한 관련을 맺어왔고 오늘날에는 거의 하나로 합쳐진 상태로 존재하게 되었으므로 둘 사이의 어떠한 구분도 이제 무의미하다는 것이다. 이러한 입장을 가진 이들은 심지어 과학과 기술이라고 분리되어 사용되는 용어가 이제 "기술과학"(technoscience)이라는 하나의 용어로 대체되어야 한다고 까지 주장한다. 이와는 대조적으로 두 번째 입장에서는 과학과 기술이 각각의 고유한 규칙과 방법 및 공동체를 가지고 있으면서 서로 명확히 구별되는 활동이었으며 아직까지도 대체로 그러하다고 파악한다. 이들 두 가지 극단적인 주장 사이에는 무수히 많은 서로 다른 의견들이 넓은 스펙트럼을 형성하면서 존재하고 있다.

이 스펙트럼의 양극단에 존재하고 있는 이들은 누구인가? 맑스주의 과학사학자들과 과학철학자들은 대체로 과학과 기술이 밀접한 관계를 맺고 있다는 생각을 지지해왔다. 일례로 맑스주의 철학자 벤자민 패딩턴은 탈레스, 아낙시만데르, 아낙시메네스 등 기술적, 육체적 노동에 종사했던 소크라테스 이전의 철학자들에게서 고대 그리스에서의 과학의 시작이 물질적 생산과 밀접하게 연관되어 있었음을 볼 수 있다고 주장하였다. 과학과 기술 사이의 관계는 플라톤과 아리스토텔레스의 관념론적 자연철학이 시작되면서 멀어지게 되었는데, 이들을 다시 결합시킨 것은 바로 16세기와 17세기의 과학혁명이었다는 것이다. 패딩턴에 따르면 이러한 재결합의 철학적인 기반은 프랜시스 베이컨(Francis Bacon)의 "산업적 과학관"(industrial philosophy of science)에 가장 잘 나타나 있다. 다른 맑스주의자들도 이와 비슷한 견해를 가지고 있었다. 구 소련의 보리스 헤센은 큰 영향력을 가졌던 그의 논문에서 항해술, 탄도술 등 17세기 유럽 사회의 기술적, 경제적 요구가 뉴턴의 프린키피아에 담긴 새로운 역학이 등장하게 된 원인으로 작용했다고 주장하였다. 영국의 맑스주의 결정학자이자 과학사가였던 버널의 『과학의 역사』(*Science in History*)와 『19세기의 과학과 기술』(*Science and Technology in the Nineteenth Century*) 또한 전 역사에 걸친 과학과 기술의 밀접한 관계를 강조하고 있다. 그에 따르면 특히 산업혁명 이후로 기술 발전에 대한 과학의 공헌 및 과학의 진보에 대한 기술의 공헌이 크게 증가하였고, 이를 통해 과학은 한 사회의 생산력의 중요한 부분이 되었다.¹⁾

맑스주의적인 생각은 1970년대에 영향력이 있었는데, "기술과학"(technoscience)이라는 최근의 개념은 맑스주의적 전통과는 거의 관계가 없다. 그 개념의 지적인 기원 중 하나는 브루노 라투어와 미셸 칼롱의 행위자-연결망 이론(actor-network theory)으로서, 이 이론에 따르면 과학적인 사실은 기술적인 인공물과 불가분의 관계를 맺고 있다. 여기서 과학과 기술 사이의 관련은 구성주의적 입장을 근거로 하

는 것이며 맑스주의적 입장과는 거리가 멀다. 인간만이 아니라 비인간(nonhuman)까지를 포함하는 확장된 행위자 개념을 제안한 행위자-연결망 이론에서는 과학적인 사실들이 인간들과 비인간들(실험실 내의 실험 도구 및 기타 비인간 행위자들)의 연합(alliance)에 의해 안정화되는 것으로 파악되며, 이러한 의미에서 과학적인 사실(fact)들은 일종의 인공물(artefact)로 간주된다. 이와 같이 인간과 비인간 행위자의 서로 다른 그룹들 사이에서 형성되는 행위자-연결망은 과학과 기술 사이의 구분을 무의미한 것으로 만들어버린다. 이러한 이론에 의하면, 과학자들은 머리로 생각하는 사람들이고 엔지니어는 손으로 일하는 사람들이라거나, 또는 과학과 기술은 인간의 서로 다른 두 가지 활동이라는 식의 생각들은 이제는 폐기되어야 할 낡은 것이 되었다.2)

과학과 기술이 거의 관련이 없다는 반대쪽 극단의 주장을 하는 이들은 누구인가? 북미의 대부분의 기술사학자들이 의식적으로 혹은 무의식적으로 이러한 입장을 취하게 되었다. 미국 과학사학회(History of Science Society, HSS)의 공식 학술지인 『아이시스』(Isis)의 편집인과 일부 기술사학자들 사이의 불화가 1958년 미국 기술사학회(Society for the History of Technology, SHOT)를 창립하는 계기가 되었다는 것은 잘 알려져있다. 초창기 몇 년 동안 하나의 학문 분야로서의 기술사는 이미 상대적으로 잘 정립되어 있던 과학사와 경제사 사이에서 자신의 학문적 영역의 경계를 설정하고자 하였다. 이를 위해 SHOT의 기술사학자들은 당시에 널리 퍼져 있던 두 가지 주장을 무력화시켜야만 했다. 그 중 첫 번째는 기술의 발전이 과학에 의해 결정된다는 것이었고, 두 번째는 기술의 발전이 경제적 필요에 의해 결정된다는 것이었다.3) 첫 번째 것과 관련된 “응용과학 명제”(applied-science thesis)는 기술이 단지 과학적 법칙과 방법이 응용되어 생기는 산물일 뿐이라고 주장하였고, 기술발전의 “선형모델”(linear model)은 기초과학이 언제나 기술적인 발명과 혁신을 가져다 줄 것이라고 간주했다.4)

기술사학자들은 이러한 응용과학 명제와 선형모델에 반대하여 두 가지 새로운 생각을 제시하였다. 첫째로, 그들은 과학자들과 엔지니어들이 서로 다른 공동체를 이루고 있으며, 토목, 도시, 기계, 전기, 화공 엔지니어들의 공동체는 과학자 공동체와는 전혀 다른 가치와 규범을 발전시켜 왔다고 주장했다. 예를 들어, 과학자 공동체에서는 자연현상에 대한 추상적인 이해가 가장 높은 인정을 받는 반면에 엔지니어 공동체에서 추상적인 이해는 가장 낮게 평가된다는 것이다. 에드윈 레이튼은 이를 두고 과학과 기술을 “거울에 비친 쌍둥이”(mirror-image twins)라고 표현했는데, 이는 과학자와 기술자들의 공동체가 쌍둥이처럼 닮았지만 그들의 걸모습(즉 규범과 가치들)이 역전된 상태로 존재한다는 의미다. 예를 들어 과학에서는 “앞에 대한 추구”(seek-to-know)가, 기술에서는 “실행에 대한 추구”(seek-to-do)가 각각 필수적인 요건을 형성하고 있다는 식이다. 둘째로, 기술사학자들은 기술의 본질이 하드웨어이기보다는 기술적 지식(technological knowledge)이라고 주장하였다. 기술은 고유한 방법과 데이터 및 내용을 지니고 있으나 기술의 본질은 효율의 추구와 디자인 능력에 대한 강조에서 찾을 수 있다는 것이다. 이러한 두 가지 근거를 바탕으로 기술사학자들은 과학과 기술 사이의 상호작용을 과학적 지식의 기술적 하드웨어로의 응용으로서가 아니라 두 동등한 지식 체계들 사이의 상호작용으로서 이해할 것을 제안하였다.

과학사학자들은 이 문제에 대해 결코 합의에 도달하지 못하였다. 그러나 알렉산드르 코아레, 루퍼트 홀, 리처드 웨스트팔, 찰스 길리스피 등의 과학사학자들은 최근까지도 과학과 기술 사이에 시너지 효과를 일으키는 직접적인 영향관계가 존재하지 않았다고 지적하였다. 코아레는 17세기 과학혁명을 특징짓는 요소를 “조화로운 우주라는 개념의 파괴”와 “공간의 기하학화”와 같은 지적인 혁신들로 파악했으며, 기술은 말할 것도 없이 실험과 도구도 이들 혁신을 위해서 매우 미미한 역할만을 수행하였다고 평가하였다. 홀은 과학혁명기를 통해 과학이 기술에 미친 영향은 극히 미미한 것이었다고 단언하였다. 기술(technology)과 기예(art)가 과학에 스며들어 간 것은 그들 사이의 경계가 허물어졌기 때문이 아니라 대학의 “학자들”이 대학 밖의 “장인들”의 방법에 주의를 기울이고 그것을 채택했기 때문이었다는 것이다. 웨스트팔은 과학혁명기의 프랜시스 베이컨의 과학을 “산업적 과학”(industrial science)이라고 지칭

한 패러다임을 비판하였는데, 왜냐하면 그가 보기에 과학과 기술 사이의 관계에 일어났던 일은 “산업적” 이라고 분류될 수 있는 경제 부문과는 거의 관련이 없는 것들이었기 때문이었다. 홀은 심지어 산업혁명 기에도 기술과 과학적 지식 사이의 직접적인 상호작용은 존재하지 않았다고 주장했다. 직물 기계, 증기 기관, 철도, 철의 생산을 위한 석탄의 사용, 소다의 화학적 생산 등 당대의 중요한 기술적 발전들은 과학에 의해서 가능해진 것들이 아니었다. 길리스피는 프랑스의 백과전서 운동의 예를 들면서 과학이 기술에게 제공했던 것은 당시에 존재하던 기법과 산업공정에 대한 합리적인 분류와 체계화 - 길리스피는 이 과정을 “산업의 자연사”(natural history of industry)라고 불렀다 - 였다고 주장하였다.⁶⁾

그러나 홀과 길리스피 등의 과학사학자들과 SHOT의 기술사학자들 사이에는 흥미로운 차이점이 존재한다. 홀과 길리스피는 현대의 기술이 과학에 대해 크게 빚을 지고 있다는 점을 당연하게 받아들였다. 홀은 1) 수학적 분석 2) 종합 대조 실험 3) 열역학, 유전학 등의 자연법칙 4) 새로운 자연현상 등 과학이 기술적 지식에 기여한 것 4가지를 나열하면서 근대 기술을 일종의 응용과학이라고 특징지었다. 그러므로 근대의 기술적 지식은 그 기본적 개념에 있어서 근대 과학과 “매우 유사한” 것이었다. SHOT 역사가학자들 대부분은(모두는 아니겠지만) 이러한 생각을 받아들일 수 없었다. SHOT의 역사가학자들에 따르면 새로운 공학의 탄생을 가져온 것은 높은 수준의 과학이론에 대한 기술 쪽의 수동적인 수용이 아니라 기술과 과학 사이의 상호작용이었다. 엔지니어들은 자신들이 사용할 만한 과학이론이 없는 경우에도 체계적인 이론들을 고안해내곤 했다. 월터 빈센티는 항공공학에 대한 상세한 분석을 근거로 과학과 공학이 모델과 실험의 사용에 있어서 어떤 차이점을 가지고 있는지를 밝혀냈다. 과학자들이 너무 크거나 작은 대상을 눈에 쉽게 보이는 적당한 크기로 나타내기 위해 모델을 사용하고 또 가설을 만들거나 검증하기 위해 실험을 하는 반면, 엔지니어들은 정확한 정량적 이론이 없어서 생기는 어려움을 피하면서 설계를 위해 필요한 데이터를 얻기 위해 모델을 만들고 실험을 한다는 것이 과학과 기술의 미묘한 차이였다.

과학과 기술의 관계라는 문제는 역사적 사례연구에 대한 상충되는 해석으로 인해 더욱 복잡해졌다. 맑스주의 역사가학자들, SHOT의 역사가학자들, 그리고 과학사학자들은 각각 자신들의 견해를 설득력 있게 만들기 위해서 역사적인 예들과 사례연구를 이용하였다. 그렇지만 이러한 사례연구들은 과학과 기술의 관계에 대한 오랜 논쟁을 분명하게 종결시켜주지 못하였다. 왜 그러한 예들과 사례연구들이 논쟁을 해결해 줄 수 없었고, 왜 역사가학자들은 동일한 역사적 사건에 대해서 서로 다른 해석을 내렸는가? 다음절은 이러한 문제를 다루는데, 여기서 나는 개별적인 사례에 대한 미시사(微示史, microhistory)적인 검토가 과학과 기술의 관계에 대해 서로 다른 결론들, 심지어는 상반되는 결론도 낳을 수 있다는 점을 보일 것이다.

역사적인 사례연구와 그것이 가지는 함의의 한계

과학과 기술이 뚜렷이 구별된다는 생각을 지지하는 학자들은 하인드사이트 프로젝트(Project Hindsight)를 즐겨 인용하였다. 1960년대 초 미국 국방부의 지원을 받아 수행된 하인드사이트 프로젝트는 과학과 기술이 현대의 군사 방어 시스템의 발전에 기여한 바가 무엇인지를 자세하게 조사하였다. 조사관들은 우선 당시의 방어시스템에 도달하게 한 여러 가지 “사건들”을 분류하였고, “그 사건들 중 0.3%”만이 과학에 의한 것이었음을 명백히 밝혀내었다. 90%가 넘는 사건들의 기원이 기술적인 것이라고 판명되었고 8%의 사건들의 기원이 응용과학에 있었다. 그러나 하인드사이트 프로젝트의 결과에 동의하지 않았던 사람들은 미국 과학 재단(National Science Foundation)이 후원한 반박용 프로젝트였던 트레이스 프로젝트(Project TRACES)를 선호했다. 트레이스 프로젝트는 피임약, 전자현미경, VTR 등의 여러 가지 혁신들의 기원을 추적하여 그것들이 (특정한 임무를 띠지 않은) 기초 과학 연구로부터 기원

한 것임을 보였다. 쉽게 알 수 있듯이, 이러한 두 가지의 결론은 서로 다른 정책적인 함의를 가지고 있었다.⁸⁾

각각의 그룹은 동일한 역사적 사건의 서로 다른 측면을 강조하려는 경향이 있다. 토마스 에디슨의 발명들, 특히 그의 전기 조명 시스템은 과학에 대한 기술의 자율성을 보여주는 것으로 강조되어 왔다. 반면에 이러한 생각에 불만을 가진 사람들은 전기조명 시스템의 발전에 있어서 에디슨이 고용한 물리학자 윌슨의 기여를 강조하였다. 근대적 엔지니어링의 선구자 중 하나인 랭카인(W.J.M. Rankine)의 엔지니어링 방법은 과학의 엔지니어링으로의 응용을 보여주는 증거로 해석되기도 하였고, 과학과 구별되는 엔지니어링이라는 새로운 분야의 형성을 보여주는 증거로 해석되기도 하였다. 독일의 엔지니어 루돌프 디젤에 의한 디젤 엔진의 발명은 기술에 대한 과학(카르노 사이클과 같은 열역학의 원리)의 기여를 보여주는 것으로 묘사되기도 하였고, 또는 실제 세계에서 기술에 있어서 과학적인 이상(역시 카르노 사이클)은 무용지물에 불과함을 보여주는 것으로 묘사되기도 하였다. 레이저의 발명은 과학(양자 물리학)과 마이크로파 공학 사이의 유익한 상호작용을 보여주는 것으로 간주되기도 하였고, 유도방출(stimulated emission)에 대한 과학적 아이디어(1910년대에 제안됨)와 그 아이디어가 레이저에 응용되는 것(1950년대에 이루어짐) 사이의 큰 간극을 보여주는 것으로 간주되기도 하였다. 1831년에 이루어진 패러데이(Michael Faraday)의 전자기유도 현상 발견은 그것이 전기 모터와 발전기를 가능하게 해 주었다는 이유로 기술에 대한 과학의 기여를 보여주는 결정적인 증거의 하나로 해석되어 왔다. 그러나 이러한 함의에 반대하고자 하는 사람들은, 패러데이의 발견 후 30년이 지난 1860년대 말에야 사용 가능해진 상업적 발전기의 발명에 중요한 기여를 한 것은 패러데이가 아니라 이름 없는 많은 기술자들이었다고 강조했다. 이와 같이, 19세기의 전기(electricity)에 대한 역사는 두 가지 다른 방법으로 기술되어 왔다. 역사학자 켈러는 “볼타(Volta), 데이비(Davy), 외르스테드(Oersted), 옴(Ohm), 암페어(Ampere), 패러데이 등이 없었다면 전신, 전화, 전기분해, 전기도금은 존재하지 않았을 것이며 전지, 발전기, 조명, 전차 등도 없었을 것”이라고 주장하였다. 반대로 과학사가 데렉 드 솔라 프라이스는 동일한 시기의 특징에 대해 말하면서 “과학 연구에서 사용되는 기술에서의 혁명적인 변화가 과학과 기술 전체에 반향을 불러일으키면서 새로운 방법론들의 전체 체계들을 만들어냈다”라고 하였다.

왜 이들 역사적 해석이 서로 달라지게 되는가? 이에 대해서는 몇 가지 이유들이 있다. 첫째로, 과학사와 기술사라는 학문 분야들 사이의 간극이 상황을 악화시키는데 명백히 기여하였다. 과학사학자들은 “기술 내적인 부분”에 대해서 거의 검토를 하지 않는 반면, 기술사학자들은 때때로 시대에 뒤떨어진 과학관을 가지고 있기 때문이다. 드 솔라 프라이스는 “과학 주변에서 생겨난 우리의 학문분야들이 너무도 서로 분리된 상태로 전문화되어온 까닭에 대부분의 과학사학자들은 기술사에 대해 당연히 아무 것도 몰라도 되는 것처럼 되었으며 기술사학자들도 과학사에 대해 마찬가지로의 상황이다”라고 불만을 표시하였다.⁹⁾ 둘째로는 의미론적인 문제가 존재하고 있다. 오토 마이어가 지적했듯이 과학 또는 기술이라는 용어는 “정확한 경계를 규정하지 않은 채 일반적인 의미 영역을 지칭”하는 불분명하고 “포괄적인 용어”이다. (순수 혹은 응용) 엔지니어링(engineering), 공학(engineering science), 과학적 엔지니어링(scientific engineering), 기술적 지식(technological knowledge), 이론과 실천(theory and practice) 등의 용어들뿐만 아니라 그들 사이의 관계를 나타내는 상호작용(interaction), 응용(application), 정보의 흐름(flow of information), 중개(mediation), 변용(transformation) 등의 용어들은 정확히 정의할 수가 없는 것들이다. “함께 춤추는 한 쌍”(dancing pair), “거울에 비친 쌍둥이”(mirror-image twin), “공생”(symbiosis), “변증법적 상호작용”(dialectic interaction) 등의 비유와 모델들은 과학과 기술의 관계를 잘 반영하는 동시에 그만큼 왜곡하게 된다. 셋째로, 과학과 기술의 관계에 대한 역사학자들의 일반적인 차원의 서술은 의식적이건 무의식적이건 간에 특정한 과거 사례연구에 대한 분석과 자신이 가진 현재의 관심을 함께 반영하고 있다. 나는 과학적 지식과 기술적 지식의 차별성에 대한 레이트와 다른

SHOT 역사학자들의 생각들이, 엔지니어링의 전문직업화를 위해서 기술의 과학으로부터의 독립성을 강조했던 19세기와 20세기 미국 엔지니어들의 관념을 반영하고 있는 것이라고 생각한다. 라디오의 역사를 보아도, 마르코니(Guglielmo Marconi)는 기술이 과학으로부터 대체로 독립적인 것으로 그려지는 무선 전신의 역사를 스스로 정리하였던 반면, 올리버 로지와 같은 영국의 맥스웰주의자들은 과학이 초기 라디오에 다양한 방식으로 기여한 바를 서술함으로써 마르코니 식의 역사를 반박하였다. 각 행위자들의 역사는 그들이 쓴 과학논문과 단행본, 회고록, 자서전, 부고, 특허 등에, 또 편지나 출판되지 않은 일기 등의 문서에 기록되어 있다. 후대 역사학자들의 해석은 그들이 “권위”있다고 믿는 이러한 사료들로부터 크게 영향을 받았다.

그렇다면, 서로 경쟁하는 여러 결론들 중 어떤 것이 역사적 관계의 진실을 담고 있는가? 우리는 과학과 기술 사이의 관계를 진실되게 표현해주는 “객관적인” 그림을 그려낼 수 있을까? 내가 이 절에서 보려고 했던 것은, 역사학자는 동일한 역사적 사건으로부터 여러 가지의 함의들, 심지어는 서로 상충되는 함의들을 이끌어낼 수 있기 때문에, 하나 또는 일련의 특정한 역사적 사례연구를 통해서 과학과 기술의 관계에 대한 일반적인 결론을 유도하려 하는 것은 대개 위험하다는 것이다. 나는 이러한 어려움을 피해가려는 한 가지 시도를 하고자 한다. 이를 위해 나는 장기적인 경향과 패턴을 분석하는 과학과 기술의 관계에 대한 “거시사”(擧示史, macrohistory)를 제안하고자 한다. 내가 제안할 거시사는 과학과 기술 사이의 경계를 흐리고 둘 사이의 상호작용을 촉진했던 세 종류의 ‘경계물들’(boundary objects)의 역사적인 형성을 강조한다. 이들 세 가지 경계물은 물질적 경계물로서의 도구(instruments), 공간적 경계물로서의 새로운 제도과 실험실, 경계인 또는 잡종적 인간으로서 과학과 기술 사이를 중개했던 새로운 사람들의 집단 등이다.

경계물과 과학/기술의 거시사적 관계

과학(또는 자연철학)과 기술(또는 기예)은 고대와 중세에는 어느 정도 구별될 수 있고 서로 분리된 분야들이었다. 이러한 분리에는 몇 가지 이유가 있었다. 첫째로, 자연철학과 기술은 서로 다른 부류의 사람들에게 의해 행해졌다. 자연철학이 학자들에 의해 행해진 데 비해서 기술은 주로 낮은 계급에 속했던 교육받지 못한 장인들이 수행한 활동이었다. 이러한 이유 때문에 우리는 맷돌, 빨대, 물 펌프, 기계장치로 움직이는 시계, 풍차제분기 등 고대 및 중세시대에 만들어진 장치들의 발명가들의 이름을 알지 못한다. 둘째, 자연철학과 기술적 활동은 그 본질적 성격이 매우 다른 것으로 여겨졌다. 자연철학자들이 철학적 또는 신학적 목적을 위해 자연현상을 논하는 것을 추구했다면, 장인들의 목표는 유용한 물건들을 발명해내는 것이었다. 중세를 풍미했던 아리스토텔레스주의 자연철학은 자연적인 것과 인공적인 것 사이의 엄격한 이분법적인 구분을 당연시했고, 이것은 자연철학자들의 기술적 활동에 대한 경시를 정당화시켜주었다.

과학과 기술의 관계에 대한 거시사는 이들 사이의 상호작용을 가로막던 장벽에 점차 빈틈이 생겨나고 또 그 장벽이 부분적으로 허물어지는 오랜 과정을 보여주고 있다.¹⁰⁾ 이러한 과정을 촉발시키는 계기는 기술자들의 사회적 지위가 현저히 상승하였던 르네상스 시대에 마련되었다. 이른바 르네상스 엔지니어들은 건물과 배, 운하를 건설하면서 부를 획득하고 사회적인 명성을 확립하였다. 더 나아가 그들은 스스로 공부하여 학식을 쌓았다. 그들은 대학의 학자들과 접촉하고 그리스어와 라틴어 등의 고전언어를 배웠으며 유클리드와 아르키메데스의 책을 읽고 기술적인 주제들에 대한 책을 썼다. 이러한 접촉을 통해 대학의 학자들이 기술적인 문제에 관심을 가지게 되었다. 스테빈과 갈릴레오는 지레, 부력, 투사체의 문제와 같은 역학적 문제에 달라붙어 연구하였다. 파스칼과 토리첼리는 수력학과 물 펌프의 현상들을 설명하고자 시도했다. 다른 이들은 군사용 축성술, 항해술, 지도제작술 등에서의 기하학적 문제를 연구

했다. 이것은 자연스럽게 학자들과 기술자들 사이의 여러 접점들을 만들어 내었다.

물질적인 경계물: 도구

과학혁명기 동안의 또 다른 변화는 과학에 실험적 방법이 도입된 것이다. 아리스토텔레스는 과학에서 관찰이 중요하다고는 생각했으나 실험적 방법의 사용에는 엄격하게 반대하였는데, 그것은 실험을 통한 개입이 자연의 참된 움직임을 방해할 것이라고 생각했기 때문이었다. 프랜시스 베이컨, 갈릴레오, 로버트 보일 등에 의해서 일단 실험이 과학에 도입되고 또 그것이 과학탐구의 적합한 방법으로 받아들여지자, 기술은 도구의 형태를 띠고서 과학 속으로 몰릴 듯이 밀려들어왔다. 과학자들은 과학 연구를 위해 경사면, 펌프, 도르래, 지레, 렌즈, 프리즘, 시계 등 각종 도구를 만들고 사용했다. 망원경과 현미경은 인간의 감각을 엄청나게 확장시키는 한편 그것들에 의해 만들어진 상(image)의 신빙성에 대한 일련의 인식론적 논쟁을 유발시켰다. 로버트 보일의 공기 펌프는 자연에는 일반적으로 존재하지 않았던 진공을 만들어냈다. 자연철학자들이 관심을 가지는 자연세계는 더 이상 “있는 그대로의” 자연이 아니라 도구가 만들어냈거나 도구에 의해 감지될 수 있는 일종의 인공적 세계 또는 “넓은 의미에서의 자연”이었다. 이러한 과정을 통해 도구는 과학과 기술 사이의 인식론적인 간극을 좁혀주었다.¹¹⁾

나는 현미경, 망원경, 공기 펌프 등의 도구들이나 진자 시계와 같은 기술들, 그리고 애틀우드의 기계(18세기)와 같은 시범 기계들이 자연철학자, 도구제작자, 기술자 사이의 첫 번째 인터페이스(접촉면)를 제공해 주었다고 생각한다. 즉 그것들은 과학과 기술 양쪽 모두에 겹쳐진 상태로 존재하는 첫 번째 경계물이 되었다. 도구는 네 가지 면에서 과학과 기술 사이의 상호작용을 중재하는 역할을 수행하였다. 첫째, 도구는 과학에 유입되는 기술의 주된 부분을 차지하였다. 둘째, 새로운 인공물들이 만들어낸 새롭고 이상한 효과들은 과학자들의 관심을 끌어 들어서 그에 대한 과학적인 설명을 제공하게 유도 하였다. 과학자들은 때때로 그러한 효과를 표준화된 과학적인 테크닉으로 만들거나 판매가능한 도구로 변환시키기도 했다. 전등은 에디슨 효과라고 명명된 이상한 효과를 나타냈으며, 이 에디슨 효과는 2극 진공관으로 변환되었다. 또 다른 예는 몇몇 크리스탈이 가진 이상한 전기적인 성질인데, 이것은 초기 무선전신에서 크리스탈 정류기(crystal rectifier, the cat's whisker)로 이용되었고, 20세기 전반의 몇몇 이론물리학자와 실험물리학자들의 연구를 거쳐 마침내 1947년 접촉 반도체의 탄생으로까지 이어졌다. 셋째, 전기 실험도구에 관한 맥스웰(James C. Maxwell)의 전자기 이론이 나중에 대형 교류 발전기에 사용된 것처럼, 실험도구를 위해 고안된 과학이론은 이후에 (수정을 거쳐) 기계류에 응용될 수 있었다. 마지막으로, 레이튼이 주장한 바와 같이 (수력 터빈 등의) 기술의 효율을 측정하기 위해 고안된 (프로니 동력계 등의) 표준 측정 도구들은 관련된 과학적 원리들을 그 측정 도구 자체에 포함하면서, 기술의 전파와 개량에 결정적인 역할을 하기도 한다.

공간적 경계물 혹은 경계공간(Boundary Space)

이제 두 번째 경계물에 대해 생각해보자. 두 번째 경계물은 과학자와 엔지니어들이 서로 만나고 공통의 관심사를 토론할 수 있었던 사회적인 공간이다. 17세기 후반 이래로 런던의 커피하우스, 살롱, 선술집들은 데자굴리에와 같은 뉴턴주의 자연철학자들과 제임스 브릿지스와 같은 실업가들이 만나서 뉴턴주의, 항해술, 상업, 보험, 새로 발명된 세이버리 엔진 등에 대해 토론하는 장소로 발전해왔다. 18세기의 마지막 25년 동안에는 “철학과 문학회”들이 버밍햄, 맨체스터, 리드, 리버풀, 뉴캐슬, 셰필드, 더비 등의 많은 산업 도시들에서 설립되었다. 그러한 협회들에는 해당 도시의 유명한 과학자, 엔지니어, 실업가 및 산업자본가들이 회원으로 속해 있었다. 그 중 가장 유명했던 버밍햄의 루나 협회에는 제임스 와트

(James Watt), 조시아 웨지우드(Josiah Wedgwood), 조셉 프리스틀리(Joseph Priestly), 에라스무스 다윈(Erasmus Darwin), 그리고 그 지역의 산업자본가들과 엔지니어들이 속해 있었다. 그들은 연소에 대한 플로지스톤(phlogiston - 연소와 하소를 담당한다고 여겨진 무게가 없는 가상적 입자) 이론, 열역학, 증기기관 등 다양한 과학적, 기술적 문제들에 대해 토론했다. 그들은 과학적 지식이 기술적, 산업적 진보를 가져다 줄 것이라고 믿었다.

이러한 협회들에서 토의된 과학적 지식들이 정말로 기술적 발전에 기여했는가에 대해서는 논쟁이 있어 왔다. 역사학자 닐 맥켄드릭은 성공한 도자기 제조업자이자 루나 협회의 회원이었던 조시아 웨지우드가 실제로 그의 성공적인 도자기 제조를 위해 화학적 지식과 기술의 도움을 많이 받았다고 주장하였다. 그러나 이런 주장을 비판하는 사람들은 웨지우드의 화학적 지식이 이후에 존재하지 않는 것으로 밝혀진 플로지스톤에 대한 프리스틀리의 이론에 근거한 것이었으며, 더 나아가 웨지우드는 단지 당대의 과학이론을 통해 자신의 성공을 정당화시킨 것일 뿐이라고 주장하였다. 역사학자들은 암묵적으로 자신들이 현재 과학에 대해 가지고 있는 기준을 통해 과거를 연구해왔는데, 이로 인해 문제는 더욱 복잡해졌다. 즉, 역사학자들은 프리스틀리의 플로지스톤 이론과 같은 틀린 이론은 응용되어서 성공적인 결과를 낳을 수 없다고 생각하는 경향이 있다. 웨지우드의 지식이 성공적이었다면 그것은 틀린 과학이 아닌 다른 어떤 것으로부터, 가령 실제 도자기 제조를 통해 축적된 경험에서 유래한 것임이 분명하다는 식이다. 이러한 논리를 따르면 과학은 그 이론이 올바른 것일 때에만 정말로 기술에 응용될 수 있다는 결론에 이르게 된다. 일반적으로 우리는 수학과 실험으로 무장한 19세기 후반의 물리학은 18세기 후반의 물리학과 완전히 달랐다고 말할 수 있다. 가령 켈빈의 열역학, 맥스웰의 전자기 이론, 또는 리비히의 유기화학을 18세기의 칼로릭 이론, 갈바니즘(Galvanism), 플로지스톤 이론 등과 비교해 보라. 새로운 열역학, 전자기학, 유기화학이 - 이들은 모두 우리가 지금 생각하는 “올바른 과학”을 구성하는 것들인데 - 산업적, 기술적으로 응용되었다는 사실은 전혀 놀라운 일이 아니다.

나는 위에서 과학자, 엔지니어, 산업자본가들이 상호 교류하고 서로의 공통 관심사에 대해 얘기를 나누었던 ‘문학과 철학회’ 같은 새로운 사회적 공간의 창출에 대해 논의했다. 이러한 상호작용은 버밍엄의 오웬스 칼리지, 맨체스터의 메이슨 칼리지 등 산업자본가와 엔지니어를 포함한 그 지역 엘리트들을 전문적으로 교육시키는 지방대학들의 설립을 위한 지적인 원동력이 되었다. 대학에 근거하고 있는 과학자와 자영업적인 발명가 및 자문을 맡는 엔지니어들 사이의 사회적 간극은 이러한 새로운 대학들에서는 거의 무의미해졌다. 1840년에 글래스고 대학에 처음으로 엔지니어링 교수직이 만들어졌고 이것은 과학자와 엔지니어 사이의 상호작용을 가속화했다. 영국 과학진흥협회(British Association for the Advancement of Science, BAAS)가 1832년에 설립되었고, 1860년에는 BAAS와 해저전신 회사를 통해 접촉을 넓혀오던 전신기사들과 물리학자들이 BAAS내에 전기표준위원회(Committee for Electrical Standards)를 설립하기로 합의하였다. 이 위원회에서 맥스웰과 같은 이론가들은 플리밍 젠킨 등 실제 전신기사들과 함께 일하면서 새로운 단위와 표준 시스템을 결정하는 방법을 찾기 위해 노력하였다. 이러한 협력을 통해 맥스웰은 이후 빛에 대한 전자기 이론의 기초가 된 정전기적 전하와 전자기적 전하의 비율에 대한 새로운 통찰을 얻었다.

과학과 기술이 서로 이익을 얻을 수 있다는 믿음이 널리 퍼지고 또 학계와 산업계 사이의 접촉이 점점 더 일상적으로 되어 가면서 또 하나의 중요한 경계 공간인 산업체 연구소가 설립되었다. 화학염료산업 분야에서는 대학에서 교육받은 화학자들이 직접 성공적으로 회사를 설립했는데, 빌헬름 호프만의 제자인 윌리엄 퍼킨(William Perkin)은 1856년에 최초의 화학염료인 보라색 아닐린을 합성한 후 성공적인 사업가로 활동하였다. 1870년대에 이미 화학산업은 비용과 품질의 문제를 해결하기 위해 대학교육을 받은 화학자들을 고용하였다. 바이에르(Bayer Company)는 1880년대에 오직 연구만을 수행할 몇 명의 박사급 화학자를 고용하였다. 이것은 바이에르의 유명한 연구부서의 기원이 되었으며, 이 연구부서는 곧

새로운 색깔의 합성연료를 만들어냈다. 이는 연구부서를 연구소로 확장시키는 결과를 가져왔다. 이러한 화학연구소는 전기산업의 본보기가 되었다. 1900년에 제네럴 일렉트릭(General Electric Company)은 휘트니(W.R. Whitney)의 지휘 아래 전기 산업분야 최초의 연구소를 설립하고, 장기적인 연구를 위해 물리학자와 화학자들을 고용했다. 이들 과학자들은 근본적으로 “인공물에 대한 자연과학적 연구”와 “기술에 대한 이론”이라는 말로 표현될 수 있는 잡종적인(hybrid) 방법을 사용했다. 심지어 랭귀어는 그 연구소 내에서 행한 연구로 노벨 화학상을 받기도 하였다. 장거리 전화의 심각한 기술적인 문제들을 해결하기 위해 설립된 벨 전화 연구소는 또 하나의 매우 성공적인 기업체 연구소가 되었다. 벨 연구소는 과학자들을 고용해서 많은 기술적 혁신을 이루었을 뿐만 아니라, 이 과정에서 순수과학 연구에 중요한 기여를 하기도 했다. 물리학과 천문학 분야에 각각 중요한 공헌을 한 데이비슨(C.J. Davisson)과 거머(L.H. Germer)의 전자회절 발견(1927)과 펜지아스(A. Penzias)와 윌슨(R. Wilson)의 우주배경복사 발견(1962)은 벨 연구소가 순수과학에 기여한 예들이다.

경계인(Boundary People)과 엔지니어링

경계공간의 확산과 더불어 과학과 기술 양쪽 모두에 관심을 가지고 공헌을 한 잡종적인 사람들의 부류가 형성되었다. 에너지 보존 원리의 발견자 중 하나인 제임스 줄(James Joule)이 바로 그러한 부류의 초기 모델에 해당한다. 전지와 증기기관에 대한 공학적 연구의 경험을 통해 그는 “효율”이나 “일” 등 엔지니어들의 언어를 채택하게 되었고, 이러한 언어의 사용은 그가 열의 일당량을 발견하는 데에 중요한 기반이 되었다. 1840년대 이래로 잡종적인 성격의 사람들이 더욱 빈번하게 나타났다. (후에 켈빈 경이 된) 윌리엄 톰슨(William Thomson)은 이론과 실체를 하나로 결합시키면서 전자기 이론과 해저 전신 양쪽에 대해 연구했다. 전신 신호 전송에 대한 톰슨의 수학적 이론은 과학적 전기 공학의 원형이 되었다. 랑카인은 토목·도시공학 분야에서 이론과 실체를 통합시켰다. 1880년대의 전화 공학 분야에서는, 왜곡없는 신호전송을 위한 수학적 조건을 발견한 올리버 헤비사이드(Oliver Heaviside)가 톰슨이 30년 전에 닦아 놓은 길을 따라서 새로운 수학적 기법과 실제 세계의 기술을 결합시켰다. 교류 전력공학 분야에서는 존 홉킨슨(John Hopkinson), 존 암브로스 플레밍(John Ambrose Fleming), 윌리엄 에어튼(William Ayrton)이 새로운 학문 분야를 정립시켰다. 이들 선구자들은 과학이론과 현장의 실용적 지식 사이를 오가면서 공학적 지식의 핵심을 만들어 냈다.

19세기와 20세기를 통한 여러 공학 분야들의 역사적인 진화과정은 이 논문의 범위를 벗어나는 문제이다. 그러나 여기에서는 그 동안 과학사와 기술사 양쪽 모두에서 별로 주목받지 못했던 엔지니어링의 세 가지 특징을 간단히 논의해보고자 한다. 첫째, 역사학자들은 공학(engineering/scientific engineering/engineering science)이 과학과 기술 사이를 중개하는 역할을 하였다고 지적해 왔다. 그러나 그들은, 과학은 고차원적 이론을 나타내고 기술은 실제적 노하우를 나타내는 것이며, 따라서 과학과 기술 사이의 중개란 높은 곳에서 낮은 곳으로 정보가 이동하는 식으로 일어났다고 암묵적으로 가정해왔다. 이러한 가정은 많은 과학자들이 기술에 관심이 없었거나 기술에 그다지 기여하지 못했으며, 또는 많은 경우에 과학자들의 기여는 실제 엔지니어들에게 전적으로 무시당했다는 역사적 사실과 종종 부합하지 않는다. 전기공학의 역사에 대한 논문에서 나는 전기 공학의 초기 단계에서 과학과 기술 사이의 중개는 두 종류의 “중개인들”에 의해 가능했다는 점을 제안한 바 있다. 과학 교육의 토대 위에서 기계의 작동을 과학적인 관점을 통해 이해했던 “과학자-엔지니어”(scientist-engineer)와 현장과 작업장에서 축적된 지식을 체계화시켰던 “현장 엔지니어”(practicing-engineer)가 바로 그들이다. 나는 또한 과학과 기술 사이의 중개행위가 네 가지 다른 차원에서 일어났음을 강조하였다. 네 가지 차원이란 과학이론과 “작업장 이론” 사이, 과학이론과 현장 및 작업장에서의 실천 사이, 실험실에서의 과학적 실천과 작업장

이론 사이, 실험실에서의 과학적 실천과 현장 및 작업장에서의 실천 사이를 뜻한다.

둘째로, 가령 전기 공학의 형성과 발전을 잡종적 엔지니어들의 중개활동을 통한 (각각의 고유한 이론과 실천을 가진) 과학과 기술 사이의 강한 상호작용의 결과라고 생각한다면, 우리는 그 역사를 질적으로 다른 두 개의 시기로 나누어 볼 수 있다. “형성기”라고 부를 만한 1880년에서 1900년 사이에는 전기 공학이 명확히 정의되는 원리와 실천을 갖추지 못한 채 그 경계가 매우 유동적이었다. 그 경계는 ‘과학자-엔지니어’와 ‘현장 엔지니어’ 사이의 광범위한 상호작용에 의해 계속적으로 재정의되었다. 이 과정에서 그들은 과학 이론, 장인적 숙달을 통해 얻어지는 암묵적 지식, 기계류의 작동에 대한 지식, 실험실 및 작업장에서의 실천 등 많은 것으로부터 적극적으로 자신들의 이론과 실천을 도출해냈으며 그것들을 가지고 전기공학이라는 학문을 만들어냈다. 과학은 이와 같이 실로 여러 차원에서의 상호작용을 통해 실제 세계의 기술 속으로 스며들어갔다. 그러나 중요한 문제들이 대체로 해결되고 전기 공학의 경계가 어느 정도 견고해져서 “안정기”라고 부를 수 있는 1900년 이후 시기의 엔지니어들은 시스템의 효율을 향상시키고 그것을 완벽하게 하는 데에 더 관심을 기울였다. 이 단계에서 그들은 주로 이미 잘 확립되어 있는 공학적인 이론과 실천에 의존했다. 과학과 기술 사이의 상호작용은 과학적 지식과 공학적 지식이라는 잘 정의된 두 종류의 지식간의 일상적인 상호작용이 되는 것이다.¹²⁾

세 번째 특징은 보다 추론적인 차원의 것이다. 역사학자들은 왜 19세기 후반에 등장한 이른바 과학에 기초한 산업(science-based industry)들이 기계공학, 도시·토목 공학, 건축공학, 수력공학 등 더 오래되고 잘 정립된 공학분야나 역학, 천문학 등의 전통적인 과학분야가 아니라 당시에 새롭게 정립된 화학이나 전기 분야의 과학과 공학으로부터 시작되었는지에 대해 고민하곤 했다. 이제 우리는 왜 그러했는가를 이해할 수 있다. 예를 들어 전기공학의 초기 단계를 생각해보자. 이 경우에 엔지니어들이 주로 이용할 수 있었던 주요한 자원은 과학이었다. 이들이 활동하던 1870년대 후반과 1880년대 초반에는 직류와 교류 현상에 대한 다양한 과학적 이론들이 이미 나와 있었다. 또 엔지니어들은 실험실에서 쓰기 위해 고안되었던 측정 기구들의 이론과 장치들을 사용할 수 있었다. 당시에는 확립된 공학적 이론과 실천이 없었으므로, 엔지니어링 문제를 풀기 위해 가장 쉽게 이용할 수 있었던 자원은 과학이 되었던 것이다. 과학이 가진 인식론적 차원의 우월성이 아니라, 특정한 문제들을 풀기 위한 자원으로서 과학을 동원하려 했던 잡종적 엔지니어들의 노력이 과학에 기초한 산업 또는 과학에 기초한 공학의 시작을 가져왔던 것이다.

결론

과학과 기술 사이의 명확한 구별을 점차로 허물었던 세 가지 경계물(도구, 공간, 인간)의 등장과 확산은 순조롭거나 수월한 과정이 아니었다. 우리가 미시적인 역사로 눈을 돌리게 되면, 거시사에서 명백히 볼 수 있는 규칙적인 패턴과 경향들은 흐릿하고 혼란스러운 모습으로 분해되어버리고 만다. 이러한 미시사적인 형태들은 거시사에서는 거의 고려되지 않는 여러 가지 우연적이고 국소적인 요인들에 의해 생겨난 것이다. 과학과 기술 사이의 긴장과 갈등은 미시사적인 분석에서는 언제든지 찾아볼 수 있다. BAAS의 전기표준위원회와 같은 잡종적인 공간에서도 엔지니어와 과학자들 사이에 긴장관계는 존재했다. 우리가 “현미경”을 가지고 분석하면 과학적 엔지니어링이란 것은 보다 덜 명확한 실체가 된다. 사실 해저전선의 성공에 있어서는 신호 전송에 대한 윌리엄 톰슨의 이론적인 연구보다는 개량된 절연 케이블 등 기술적인 혁신들이 더 중요했다. 왜곡없는 신호 전송에 대한 헤비사이드의 혁신적인 아이디어는 당대의 엔지니어들에 의해 거의 전적으로 무시당했다. 과학자들로 하여금 산업적 생산에서의 특정한 문제를 해결하도록 시키고 싶어했던 경영자들과 연구에 대한 자신들의 자율성을 유지하기 원했던 과학자들 사이의 긴장 관계로 인해 산업체 연구소에서 연구가 가지는 지위는 항상 불안정했다.

그러나 거시사적인 분석 때문에 국소적이고 일시적인 불규칙성과 우연성을 보지 못하게 되어서는 안 되는 것과 마찬가지로, 이러한 미시사적인 사례들이 거시사적인 패턴과 경향들을 뒤엎어 버릴 수는 없다. 이들 미시사적인 불규칙성과 우연성이 보여주는 것은 경계물들에 내재하는 본질적인 불안정성이다. 하지만 이러한 불안정성은 오히려 그것이 가진 역동성의 원천이 될 수 있다. 유동적이고 불안정한 경계물은 마치 자전거의 움직임과 같다. 그것이 앞으로 전진하고 있는 동안은 그 불안정성은 건설적인 것이 된다. 하나의 경계물이 다른 경계물들을 생겨나게 하는 한 그것은 역동적인 불안정성을 유지할 수 있다. 몇몇 경제학자들은 자본주의의 역사를 역동적 불안정성의 관점에서 서술했는데, 그것은 자본주의 경제가 역동적인 상태로 남아 있는 한 그것에 내재하는 불안정성이 건설적으로 작용할 수 있다는 의미에서였다. 이러한 역동적 불안정성은 과학-기술 사이의 잡종(hybrid)과 그 잡종이 발달해온 자본주의적 배경 양쪽 모두에 공통적으로 존재하는 특성인 것이다.¹³⁾

주

- 1) 맑스주의자들의 과학관은 맑스와 엥겔스가 가졌던 두 가지 생각에 근거하고 있는데, 이들 두 가지는 서로 다르고 때로는 상충되기도 한다: 첫째, 사회의 상부구조(이데올로기, 국가, 사회제도 등)는 그 토대(생산력과 생산의 사회적 관계)에 의해서 결정된다: 둘째, 사회의 생산력에는 인간 노동의 지적인 부분이라고 할 수 있는 어떤 종류의 지식들 또한 포함된다. 첫 번째 견해는 과학지식이 이데올로기적인 특성을 가짐을 함축하고 있다. 반대로 두 번째 견해는 다른 형태의 지식과는 달리 과학은 사회의 생산력의 일부분이며 따라서 철학이나 사회과학과 같은 이데올로기적 지식과는 다르다는 점을 암시한다. 자연과학이 이데올로기인가 아니면 생산력인가라는 문제는 맑스주의자들 사이에 많은 논쟁을 유발하였으며, 이 문제에 대한 입장이 20세기에 있어서 네오 맑스주의자와 정통 맑스주의자들을 가르는 경계선이 되어왔다. 하버마스는 자본주의 사회의 두 가지 상충되는 특징들(생산력과 이데올로기)이 과학에 구현되었고, 이것이 맑스의 생각과는 달리 후기 자본주의 사회의 안정성을 공고하게 하는 중요한 요소로 작용해 왔다고 주장하였다.
- 2) Bruno Latour, *Science in Action* (Harvard Univ. Press, 1989), p.145를 볼 것. 또한 Wiebe E. Bijker and John Law (eds.) *Shaping Technology and Building Technology: Studies in Sociotechnical Change* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1992)의 논문들을 참조할 것. *Technoscience*는 과학에 대한 사회적 연구를 수행하는 학자들의 학회인 4S(Society for the Social Studies of Science)의 소식지 제목이기도 하며, 이는 이 분야에서의 라투어의 영향을 상징적으로 보여 준다.
- 3) 루쓰 코완(Ruth Cowan)은 SHOT의 전 회장인 레이첼 라우든(Rachel Laudan)의 말을 인용하면서, 북미의 학자들이 “흥미로운 문제들은 과학사에 있으며 기술사는 그저 단조로운 고역일 뿐”이라는 식의 기술사를 경멸하는 태도를 가지고 있었다고(어쩌면 지금도 가지고 있다고) 언급하였다. 코완은 이것이 그동안 기술이 과학의 ‘타자’(Other)로 여겨져 왔기 때문이라고 하였다. Ruth Cowan, “Technology is to Science as Female is to Male: Musing on the History and Character of Our Discipline,” *Technology and Culture* 37 (1996), pp. 572-582.
- 4) “과학은 발명의 어머니이고, 돈은 발명의 아버지이다”라는 말은 기술의 시작에 대한 일반인들의 상식을 잘 표현해주고 있다.
- 5) ‘자연사’(natural history)란 식물, 동물, 지질, 지리 등 자연세계의 다양한 측면에 대한 사실들을 수집, 관찰, 분류, 기술함으로써 자연에 대한 체계적인 지식을 축적하고 자연이 변화해 가는 역사적인 과정을 이해하려는 학문적 활동을 의미한다[역자 주].
- 6) 산업혁명에 대해서는 A.R. Hall, “What did the Industrial Revolution in Britain owe to Science?,” in N. McKendrick (ed.), *Historical Perspectives: Studies in English Thought and Society in Honour of J.H. Plumb* (London, 1974), pp. 129-151; Charles C. Gillispie, “Natural History of Industry,” *Isis* 48 (1957), pp. 398-407 을 볼 것. 다양한 주장들을 종합하려는 시도에서 경제사학자인 피터 메시아스(Peter Mathias)는 동기, 의도, 노력이라는 측면에서는 과학과 기술 사이에

- 강한 상호작용이 있었으나 정식 과학지식의 기술적 혁신으로의 응용이라는 측면에서는 둘 사이의 상호작용이 거의 존재하지 않았다고 주장하였다. Peter Mathias, “Who Unbound Prometheus? Science and Technical Change, 1600-1800,” in Peter mathias (ed.) *Science and Society, 1600-1900* (Cambridge Univ. Press, 1072), pp. 54-80. 홀이나 길리스피와는 반대로, 몇몇 역사가자들은 산업혁명기에 과학과 기술 사이에 밀접한 관련이 있었음을 강조하였다. R.E. Schofield, “The Industrial Orientation of the Lunar Society of Birmingham,” *Isis* (1957), pp. 408-415; Neil McKendrick, “The Role of Science in the Industrial Revolution: A Study of Josiah Wedgwood as a Scientist and Industrial Chemist,” in M. Teich and R.M. Young (eds.), *Changing Perspectives in the History of Science* (London, 1973), pp. 279-318.
- 7) 에다 크라나키스(Eda Kranakis)는 하인드사이트 프로젝트가 과학이 기술에 미친 단기적 혹은 중기적 영향에 초점을 맞춘 반면 트레이스 프로젝트는 장기적인 영향을 다루었다는 점에 주목함으로써 두 가지 상충되는 조사결과를 훌륭하게 조화시켰다. Eda Kranakis, “Technology Assessment and the Study of History,” *Science, Technology, and Human Values* 13 (1988), pp. 290-307.
 - 8) 과학과 기술이 명백하게 구분된다는 생각은 기초연구보다는 전략적인 기술개발을 강조하는 정책을 지지해 준다.
 - 9) 1980년대 들어 많은 과학사학자들과 과학사회학자들은 과학연구에서의 실천(practice), 도구(instruments), 숙련(skill)에 대해 주목하기 시작하였다. 그러나 기술사학자들은 여전히 과학을 이론적, 합리적, 추상적인 것으로 생각하는 경향이 있다.
 - 10) 나는 이러한 장기적인 과정이 서구에서 일어난 현상임을 언급해두고자 한다. 나는 “서구의 과학과 기술에 있어서 가장 중요한 점은 어쨌든 그 두 가지가 서로 관련이 있었다는 것이다”라고 지적인 로젠버그와 버드웰의 생각에 동의한다. Nathan Rosenberg and L.E. Birdzell, Jr., “Science, Technology, and the Western Miracle,” *Scientific American* 263(5) (1990), pp. 42-54.
 - 11) 그러나 16세기와 17세기의 과학혁명이 과학과 기술을 융합시켰다고 결론짓는 것은 지나치게 성급한 일이다. 과학이 기술에 끼친 직접적인 영향이 있었는지는 의심스럽기 때문이다. 탄도학은 17세기의 가장 중요한 군사기술들 중 하나였다. 그러나 갈릴레오와 뉴턴의 역학은 두 가지 이유 때문에 탄도학에 큰 영향을 미치지 못했다. 첫째, 갈릴레오와 뉴턴의 역학은 공기 중의 마찰이 큰 영향을 미치는 실제 대포와 포탄을 다루기보다는 이상화된 상황을 주로 다루었다. 둘째, 대포와 포탄의 움직임은 추상적이고 수학적 이론과 잘 맞아떨어지지 않았다. 모든 대포는 수작업으로 만들어졌기 때문에 개개의 특성들이 다 달랐다. 가령 대포를 20년 동안 취급한 기술자는 역학이론에 능통한 어떤 과학자보다도 대포에 대해 더 잘 알고 있었다. 탄도학에서의 혁명은 복잡한 수학적 기법을 사용하기에 충분할 정도로 대포제작이 정확해진 18세기가 되어야 일어났다. A.R. Hall, *Ballistics in the Seventeenth Century* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1952); Brett D. Steele, “Muskets and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistic Revolution,” *Technology and Culture* 35 (1994), pp. 348-382.
 - 12) 월터 빈첸티(Walter Vincenti)는 과학자와 엔지니어들이 사용하는 지식과 그들이 만들어내는 지식을 중요하게 구별하였다. 빈첸티는, 레이튼이 지적했듯이 과학자와 엔지니어들은 서로 다른 부류의 지식을 사용하기 때문에, 두 그룹이 사용하는 지식 사이의 분명한 구별이 가능하다고 보았다. 그러나 지식을 만들어내는 측면에 있어서는 그러한 구분이 명확하지 않으며, 순수한 과학적 활동과 순수한 엔지니어링 활동 사이에는 실험실에서 공동으로 일하는 사람들의 활동과 같은 잡종적인 영역이 존재한다. 빈첸티의 이러한 생각에는 나의 생각과 유사한 부분이 있다. 그러나 그가 초점을 맞추는 것은 작업장에서 엔지니어링 지식이 생산, 소비되는 과정의 역사적인 측면보다는 그러한 지식의 생산과 소비가 이루어지는 장소에 관한 것이다. Walter Vincenti, *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from aeronautical History* (Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press, 1990).
 - 13) 이 글은 Sungook Hong, “Historiographical Layers in the Relationship between Science and Technology,” *History and Technology* (1999), pp. 289-311를 번역한 것이다. 원래 논문에 있던 각주는 몇 개를 제외하고는 대부분 생략했음을 밝힌다.